

RAPPORT D'ÉTAPE

**REMISE EN PRODUCTION DES MILIEUX OUVERTS SUR STATIONS SÈCHES
DANS LA PESSIÈRE À MOUSSES
DU SAGUENAY-LAC-SAINT-JEAN ET DU NORD DU QUÉBEC :
RÉSULTATS 5 ET 10 ANS APRÈS LA PLANTATION
POUR L'ÉPINETTE NOIRE**

Par :

PASCAL TREMBLAY, M. Sc., FRANÇOIS HÉBERT, Ph.D.,
JACQUES ALLAIRE, Agr., DENIS WALSH, M.Sc.
&
DANIEL LORD, Ph.D.



Consortium de
recherche sur la
forêt boréale commerciale

Novembre 2011

UQAC
UNIVERSITÉ DU QUÉBEC
À CHICOUTIMI

Ce document est disponible en format PDF à l'adresse suivante : [http : //dsf.uqac.ca/boreale/](http://dsf.uqac.ca/boreale/)
© Consortium de recherche sur la forêt boréale commerciale, 2011.

Le contenu de ce document peut être reproduit en autant que la source soit mentionnée.

Correspondance

Université du Québec à Chicoutimi
Partenaire du Consortium de recherche sur la forêt boréale commerciale
Département des Sciences fondamentales
a/s Daniel Lord
555, boul. de l'Université
Chicoutimi, Québec, G7H 2B1
Tél. : 418-545-5011, poste 5064; Télécopieur : 418-545-5012
Courrier électronique : Daniel_Lord@uqac.ca

RAPPORT D'ÉTAPE

**REMISE EN PRODUCTION DES MILIEUX OUVERTS SUR STATIONS SÈCHES
DANS LA PESSIÈRE À MOUSSES
DU SAGUENAY-LAC-SAINT-JEAN ET DU NORD DU QUÉBEC :
RÉSULTATS 5 ET 10 ANS APRÈS LA PLANTATION
POUR L'ÉPINETTE NOIRE**

Par :

PASCAL TREMBLAY, M. Sc., FRANÇOIS HÉBERT, Ph.D.,
JACQUES ALLAIRE, Agr., DENIS WALSH, M.Sc.
&
DANIEL LORD, Ph.D.

Université du Québec à Chicoutimi
555, boul. Université
Saguenay, Québec
G7H 2B1

En collaboration avec :

DAMIEN CÔTÉ, M.Sc.
Direction régionale du Saguenay-Lac-Saint-Jean
Ministère des Ressources naturelles et de la Faune

&

SYLVIE BOUCHARD, Ph.D. (ÉD.)

Novembre 2011

REMERCIEMENTS

En tant que collaborateur, Damien Côté du Ministère des Ressources naturelles et de la Faune (MRNF) région 02, mérite tous nos remerciements pour son initiative et son support dans le cadre de ce projet. Nous remercions aussi les intervenants du MRNF secteur forêt soient : Gervais Rhéault (UG 26), Ghyslain Groleau (UG 27), Martin Parent (UG 22) et Claude Dussault du MRNF (secteur faune); les partenaires industriels qui ont aidé à l'implantation des dispositifs et plus spécifiquement certaines personnes à l'emploi de ces partenaires à ce moment, soient : Éric Rousseau (COOP forestière de Laterrière), Luc Bolduc et Daniel Pelletier (COOP forestière de Girardville), Alain Réhaume (COOP forestière de Chapais-Chibougamau), Alain Tremblay (COOP forestière de Petit-Paris), Michel Belleau (Abitibi-Consolidated), Jean-François Côté (Bowater), Chantiers Chibougamau Ltée, Barette-Chapais Ltée et Pierre Mathieu à titre de forestier conseil. Finalement, nous tenons à remercier Daniel Gagnon, technicien horticole de l'UQAC pour la production des plants de cette expérience et tous les étudiants de premier et deuxième cycle ayant contribué à la réalisation de ce projet.

RÉSUMÉ

Au sein du domaine bioclimatique de la pessière noire à mousses de la forêt boréale commerciale du Québec, on retrouve des formations ouvertes d'étendue variable où la composition végétale se compare à celle rencontrée dans le domaine bioclimatique de la pessière à lichens. Ces milieux ouverts sur stations sèches, souvent appelés dénudés secs (DS), sont caractérisés par un couvert arborescent inférieur à 25 % et principalement composés d'épinette noire (*Picea mariana* (Mill) B.S.P.) parfois accompagnés de pin gris (*Pinus banksiana* Lamb.). La faible densité du couvert arborescent de ces milieux serait plus liée à l'historique des perturbations des sites qu'à une capacité de support jugée trop faible. En fait, elle proviendrait plus d'une succession de perturbations naturelles menant à un déficit de régénération. Ramener ces sites à leur densité arborescente initiale via différentes approches sylvicoles pourrait donc s'avérer intéressant.

Les objectifs du présent projet sont de tester la réponse de croissance de plants d'épinette noire en fonction de différentes préparations de terrain (taupe et TTS) et de deux gabarits de plant (126-25 et 67-50) en utilisant des plantations effectuées dans des pessières à mousses récoltées et scarifiées à titre de témoins. Les données après cinq ans sont complètes, alors que celles récoltées après dix ans ne concernent qu'une partie du dispositif expérimental initial, les plants de certaines parcelles atteignant dix ans après plantation à la fin de la saison de croissance 2011. Le présent rapport en est donc un d'étape pour les données dix ans, le final devant être déposé en 2012.

Pour les parcelles scarifiées, les taux de survie demeurent, dans tous les cas, suffisamment élevés pour assurer le succès de la plantation. La croissance des plants après cinq ans est significativement supérieure dans les parcelles établies dans la pessière à mousses (PM) par rapport à celles établies dans les DS. Cette différence n'est plus significative après dix ans pour le gabarit 67-50 mais l'est toujours pour le gabarit 126-25. Ces différences pourraient être liées au niveau de perturbation supérieur des parcelles scarifiées des PM, lesquelles ont été récoltées avant le scarifiage. Cette hypothèse sur le niveau de perturbation est aussi supportée lorsque les données des différentes préparations de terrain utilisées dans les DS sont comparées entre elles. Le scarifiage a permis d'obtenir les taux de survie et de croissance (hauteur, diamètre au collet et au sol, biomasse aérienne, volume de la tige) les plus élevés après cinq et dix ans en plantation comparativement aux deux autres traitements de plus faible niveau de perturbation, soit la taupe et la plantation directe. L'ensemble de ces résultats démontrent que les DS, principalement lorsque scarifiés, présentent un potentiel de croissance intéressant qui mérite une attention particulière.

Mots-clés : plantation, épinette noire, picea mariana, forêt boréale, pessière à mousses, dénudé sec, DS, scarification, TTS, taupe, plantation directe, plant de petites dimensions, 126-25, 67-50.

TABLES DES MATIÈRES

REMERCIEMENTS.....	iii
RÉSUMÉ.....	v
TABLE DES MATIÈRES.....	vii
LISTE DES FIGURES.....	ix
LISTE DES TABLEAUX.....	xi
INTRODUCTION.....	1
MATÉRIEL ET MÉTHODES.....	1
Dispositif expérimental.....	1
Matériel végétal.....	3
Échantillonnage.....	3
Analyses statistiques.....	3
RÉSULTATS.....	3
DISCUSSION.....	6
Impact des modes de préparation de terrain dans les DS.....	6
Comparaison entre les plantations des DS scarifiés et des pessières noires à mousses récoltées scarifiées.....	8
Comparaison entre les deux gabarits de plants.....	8
PERSPECTIVES.....	8
RÉFÉRENCES.....	8

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Localisation des 7 sites et des 19 blocs (numéro entre parenthèses) du dispositif.....	2
Figure 2 : Exemple de la disposition des parcelles et sous-parcelles à l'intérieur d'un bloc du dispositif.....	3
Figure 3 : Effet des préparations de terrain et des gabarits de plants sur la survie des plants cinq ans après la plantation.....	4
Figure 4 : Effets des préparations de terrain et des gabarits des plants sur la hauteur totale et le diamètre au collet (mesuré à 5 ans) et au sol (mesuré à 10 ans) des EPN, après cinq et dix ans de croissance.....	6
Figure 5 : Effet des préparations de terrain et des gabarits de plants sur la biomasse sèche épigée des plants récoltés cinq ans après la plantation.....	6
Figure 6 : Effet des préparations de terrain et des gabarits de plants sur le volume de la tige des épinettes dix ans après la plantation.....	7
Figure 7: Effets des préparations de terrain sur le rapport hauteur/diamètre des plants cinq et dix ans après la plantation.....	7

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Positions et superficies reboisées (en hectares) des sites en fonction des modes de préparation de terrain et des gabarits de plants utilisés.....	2
Tableau 2 : Résumé de l'analyse de variance du taux de survie des plants d'EPN cinq et dix ans après la plantation.....	3
Tableau 3 : Effet des préparations de terrain et des gabarits de plants sur la survie des plants d'EPN après un, deux, cinq et dix ans en plantation.....	4
Tableau 4 : Résumé de l'analyse de variance de la hauteur, du diamètre au collet et au sol, de la biomasse sèche épigée, du volume de la tige et du rapport hauteur/diamètre des plants d'EPN cinq et dix ans après la plantation.....	5
Tableau 5 : Valeurs moyennes des variables mesurées en fonction de la préparation de terrain et du gabarit des plants cinq et dix ans après la plantation.....	5

INTRODUCTION

Le domaine bioclimatique de la pessière noire à mousses du Québec est dominé par les peuplements d'épinette noire fermés (Saucier et al., 2009). Au sein de ce domaine, on retrouve aussi des formations ouvertes de superficie variable où la composition végétale se compare à celle rencontrée dans les domaines de la pessière à lichens et de la toundra forestière (Morneau et Payette 1989, Riverin et Gagnon 1996). Ces milieux ouverts sur stations sèches, souvent appelés dénudés secs (DS), sont caractérisés par un couvert arborescent inférieure à 25 % et principalement composés d'épinette noire (*Picea mariana* (Mill) B.S.P.) parfois accompagnés de pin gris (*Pinus banksiana* Lamb.).

Une analyse préliminaire réalisée en 2001 pour la région du Saguenay—Lac-Saint-Jean-Chibougamau-Chapais, à partir des banques de données de l'inventaire forestier du troisième décennal du Ministère des Ressources naturelles et de la Faune, a permis d'évaluer pour la première fois l'incidence de ce type de peuplement sur le territoire régional. Les résultats de cette analyse indiquent qu'environ 10 % ($\approx 1\,000\,000$ ha) du territoire inventorié se retrouvait dans une grande classe forestière non officielle identifiée comme « milieux ouverts sur stations sèches ». Sous ce grand vocable, seuls les dénudés secs, les dénudés secs à lichens et les brûlis mal régénérés ont été extraits des cartes d'inventaire pour en arriver au résultat de 10 %.

Il est connu que la présence des milieux ouverts dans le domaine de la pessière à lichens résulte des effets combinés des feux et du climat froid (Hustich 1965 et 1966, Lavoie et Sirois 1998). Dans le domaine de la pessière fermée, le processus d'ouverture des forêts serait plutôt lié à une succession de perturbations naturelles en rafale menant à un déficit de régénération. Par exemple, des feux trop rapprochés dans le temps ou un feu suivant une épidémie d'insectes défoliateurs peuvent conduire au processus d'ouverture (Payette et al. 2000, Côté et Gagnon 2002, Côté 2003 et 2004, Girard et al. 2009). La présence côte à côte de secteurs de forêts ouvertes et de forêts fermées sur des sites présentant les mêmes variables permanentes du milieu (dépôts de surface, drainage, pente, orientation) et aux conditions climatiques identiques, sont autant d'éléments qui démontrent que la faible productivité de ces sites serait plus liée à l'histoire des perturbations qu'à la capacité de support du milieu. D'ailleurs, les résultats de Côté (2004) démontrent que les individus croissant dans le milieu ouvert sur stations sèches affichaient une croissance comparable à ceux de la forêt fermée avoisinante. Tous ces résultats concernant la construction naturelle des milieux ouverts en forêts fermées du domaine de la pessière noire à mousses (PM) laissent croire que la remise en production de ces territoires est envisageable tant au plan conceptuel que technique.

La préparation de terrain le plus souvent utilisée en forêt boréale québécoise lors de l'établissement d'une plantation est le scarifiage (Dancause 2008). Ce type de préparation de terrain est reconnu pour améliorer, à court terme, le succès des plantations par une amélioration des fonctions hydriques

et nutritives des semis (Brand 1990, Munson et al. 1993, Prévost 1996, Boucher et al. 1998 et 2001). Le scarifiage est aussi reconnu pour limiter la prolifération des éricacées en créant des barrières à l'expansion des rhizomes (Titus et al. 1995, Thiffault et al. 2005). Lorsque le scarifiage est impossible, l'utilisation de la taupe pourrait devenir un traitement sylvicole approprié. Ce type de traitement vise à exposer le sol minéral dans un rayon de 15 cm (Tremblay 1996) et son impact sur la croissance des plants pourrait ressembler à celui du scarifiage, mais à plus petite échelle. Cependant, les effets spécifiques sur les plants forestiers dans les pessières à lichens sont mitigés (Hébert et al. 2006).

Le facteur gabarit de plant fait aussi l'objet de cette étude car le faible niveau de compétition pour la lumière dans les milieux ouverts sur stations sèches pourrait permettre l'utilisation de plants de petites dimensions. Des plants cultivés en récipient de 126 cavités d'un volume de 25 cm³ (126-25) ont déjà montré leur potentiel de survie et de croissance au sein de la forêt boréale commerciale dans des milieux comme des brûlis récents ou des pessières à mousse récoltées (Walsh et al. 2002 et 2011). Le recours à ce type de plants permet des économies d'échelle lorsqu'on considère qu'ils peuvent être produits sur une plus courte période, transportés et mis en terre à des coûts unitaires inférieurs à ceux des gabarits de plants couramment utilisés en forêts boréale (67-50 ou 45-110).

Les objectifs du projet sont de mesurer la survie et la croissance de plants d'épinette noire reboisés en 2000 et 2001 dans des milieux ouverts sur des stations sèches créés naturellement au sein de forêts fermées du domaine de la pessière noire à mousses. Deux facteurs sont aussi étudiés simultanément, soit l'effet de différents modes de préparation de terrain et l'utilisation de différents gabarits de plants d'épinette noire. Ce rapport présente les résultats des saisons de croissance cinq ans après plantation pour tous les blocs retenus et dix ans après plantation pour les blocs plantés en 2000.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

Dispositif expérimental

Des plantations expérimentales ont été réalisées dans 19 blocs, localisés sur sept sites dans le domaine de la pessière noire à mousses (15 blocs) et dans la sapinière à bouleau blanc (4 blocs; figure 1). Chacun des blocs comprenait un peuplement DS et un peuplement PM coupé et scarifié récemment et situé le plus près possible du peuplement DS du même bloc, utilisé dès lors comme témoin. Pour des raisons de non-conformité par rapport aux 18 autres sites en termes de végétation de compétition, le site Mistassini (bloc 7) a été exclu des mesurages dès la deuxième année (tableau 1). La zone couverte par le dispositif s'étend du 48,5° au sud jusqu'au 50,9° au nord et du 71,2° à l'est jusqu'au 74,5° à l'ouest.

La croissance et la survie de plants d'épinette noire ont été comparées en fonction des facteurs préparation de terrain et gabarit de plants. Ce dispositif factoriel en tiroirs subdi-

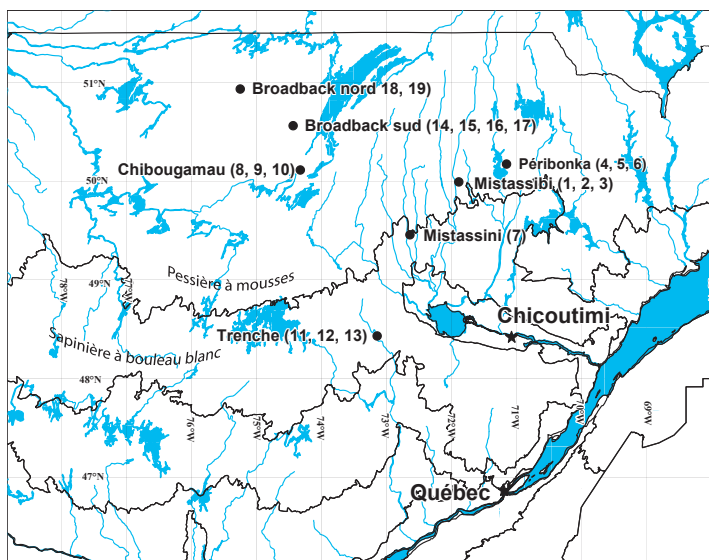


Figure 1. Localisation des 7 sites et des 19 blocs (numéro entre parenthèses) du dispositif.

visés était composé en parcelle principale des préparations de terrain à trois niveaux pour les DS¹ : sans préparation de terrain (SpDS), taupé (TaDS) et scarifié (ScDS) et un niveau pour la pessière noire à mousses (PM) qui était le scarifiage après une coupe avec protection de la régénération et des sols (CPRS; ScPM; figure 2). Le gabarit des plants, soit ceux de type 67-50 (67 alvéoles de 50 cm³ de substrat) et des 126-25 (126 alvéoles de 25 cm³ de substrat) était en sous-parcelle.

Le scarifiage a été effectué à l'aide d'un scarificateur TTS à disques hydrauliques pour tous les sites à l'exception du site Péribonka où un scarificateur TTS à disques mécaniques a été utilisé. Suite à la préparation de terrain, la largeur des sillons variait de 60 à 80 cm. La taupe, pour sa part, est une préparation de terrain effectuée à l'aide d'une débroussailluse modifiée et consiste à créer un microsite de 30 cm de diamètre en enlevant la végétation compétitive et la couche de sol organique afin d'exposer le sol minéral. Les traitements de préparation de terrain ont été réalisés en

Tableau 1. Superficies reboisées (en hectares) en fonction des sites et des traitements de préparation de terrain et de gabarit de plant. Les Blocs surlignés ont été détruits par des incendies en 2007 (Bloc 1-3) et en 2010 (Bloc 11-12). Le Bloc 7 (barré) a été exclu des analyses 5 et 10 ans à cause de la densité des graminées et son emplacement dans une bétulaie.

Site	Bloc	Coordonnées		Dénudé sec						Pessière à mousses	
		Latitude Longitude		SpDS		TaDS		ScDS		ScPM	
		Nord	Ouest	126-25	67-50	126-25	67-50	126-25	67-50	126-25	67-50
Mistassibi	1	50,146	71,975	0,15	0,18	0,19	0,18	0,16	0,16	0,15	0,12
	2	49,992	71,966	0,16	0,16	0,15	0,16	0,14	0,15	0,07	0,05
	3	49,987	71,978	0,17	0,17	2,09	0,15	0,17	0,18	0,09	0,08
Péribonka	4	49,987	71,978	0,12	0,16	0,18	0,16	0,29	0,18	0,19	0,20
	5	50,187	71,172	0,14	0,16	0,14	0,15	0,27	0,26	0,18	0,21
	6	50,193	71,193	0,15	0,15	0,13	0,11	0,16	0,15	0,11	0,09
Mistassini	7	49,459	72,633	0,14	0,14	0,17	0,14	0,14	0,15	0,17	0,16
Chibougamau	8	49,981	74,210	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,19	0,17
	9	49,982	74,201	0,15	0,15	0,17	0,16	0,19	0,18	0,14	0,18
	10	49,987	74,195	0,15	0,15	0,16	0,16	0,18	0,17	0,17	0,16
Trenche	11	48,445	73,143	0,16	0,15	0,15	0,15	0,27	0,20	0,19	0,15
	12	48,441	73,130	0,15	0,15	0,14	0,16	0,14	0,18	0,16	0,18
	13	48,458	73,077	0,12	0,14	0,15	0,14	0,19	0,19	0,15	0,20
Broadback	14	50,604	74,461	0,14	0,15	0,18	0,13	0,13	0,08	0,32	0,17
	15	50,574	74,408	0,17	0,14	0,13	0,15	0,24	0,24	0,16	0,20
	16	50,574	74,408	0,12	0,18	0,17	0,11	0,19	0,23	0,14	0,15
	17	50,574	74,408	0,19	0,16	0,19	0,16	0,21	0,19	0,18	0,18
	18	50,934	75,255	0,16	0,15	0,16	0,18	0,17	0,16	0,18	0,19
	19	50,908	75,252	0,17	0,16	0,16	0,15	0,20	0,15	0,24	0,17

Note : SpDS : sans préparation dans dénudé sec (DS). TaDS : taupé dans DS. ScDS : scarifié dans DS. ScPM : scarifié dans une pessière noire à mousses récoltée. 126-25 : gabarit de plant produit en récipient 126 cavités de 25 cm³. 67-50 : gabarit de plant produit en récipient 67 cavités de 50 cm³.

1: L'expression dénudé sec (DS) fait référence aux divers types de peuplements ouverts sur stations sèches retrouvés dans les 19 blocs. Il peut donc s'agir de dénudés secs, de dénudés secs à lichens, de brûlis mal régénéré, de pinède ou de pessière noire de densité faible (densité D) ou de pessière noire à lichens.

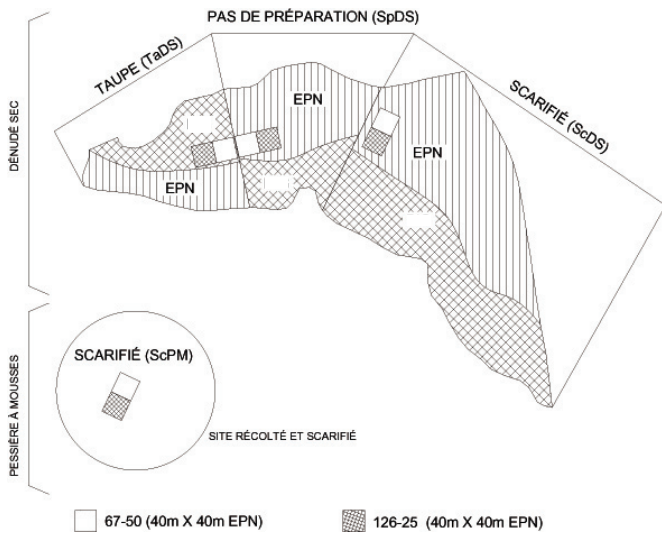


Figure 2 . Exemple de la disposition des parcelles et sous-parcelles à l'intérieur d'un bloc du dispositif. Le présent rapport concerne seulement les échantillonnages réalisés dans les parcelles de 40 m x 40 m. EPN : Épinette noire, PIG : Pin gris.

2000 pour les blocs 1 à 13 et en 2001 pour les blocs 14 à 19 (tableau 1). Le présent rapport ne concerne que les traitements réalisés en 2000.

Matériel végétal

Les plants d'épinette noire du gabarit 126-25 utilisés dans ce dispositif ont été produits à partir des graines de la provenance EPN-V8-025-K13-026-96 sur l'aire de croissance du pavillon de la recherche forestière de l'UQAC.

Échantillonnage

Pour chaque combinaison de traitements, une parcelle permanente d'environ 1 600 m² a été implantée aléatoirement sur les sites (figure 2). Une centaine de plants ont été identifiés après la plantation pour évaluer la survie. Ces plants ont été revisités un, deux, cinq et dix ans après la plantation et leur état, vivant (minimum de 10% de feuillage vert et turgescent) ou mort était noté. Le taux de survie a été calculé en faisant le rapport du nombre de plants survivants sur le nombre total plantés. Cinq plants qui ne faisaient pas partie des plants permanents pour la mesure du taux de survie ont été échantillonnés aléatoirement à chaque visite pour mesurer la croissance. La hauteur totale (H_{tot}), la longueur des pousses annuelles et le diamètre au collet (D_{col}) ont été mesurés en laboratoire. Les systèmes racinaires ont été séparés des parties aériennes, lesquelles ont été séchées à l'étuve à 80°C pendant 48 heures, afin d'obtenir la biomasse sèche de la partie aérienne (BS_{tige}) pour les années un, deux et cinq ans après la plantation. Dix ans après la plantation, les mesures ont été faites sur le terrain soit le diamètre au sol (D_{sol}) qui a remplacé la mesure D_{col} , la hauteur ainsi que la pousse apicale. Le volume de la tige (Vol_{tige}) a été calculé selon la formule d'une paraboloïde de Forslund et Pater-son (1994) pour remplacer les mesures de la biomasse, les plants étaient trop grands pour être pesés. Le rapport de la hauteur sur le diamètre a été calculé pour mesurer la robustesse des plants.

Analyses statistiques

Une analyse de variance (ANOVA) à tiroirs subdivisés a été réalisée sur les variables de survie, de hauteur totale (H_{tot}), de diamètre au collet (D_{col}), de diamètre au sol (D_{sol}), de bio-masse sèche aérienne (BS_{tige}), de volume de la tige (Vol_{tige}) et de rapport hauteur/diamètre (H/D ; cm/mm) mesurés sur des plants d'EPN 126-25 et 67-50 cinq et dix ans après la plantation. Les quatre traitements de préparation de terrain étaient en parcelles principales et les deux gabarits de plant étaient en sous-parcelle. Le rapport H/D a été corrigé par la méthode d'ajustement de Bauce et al. (1994) afin de ne pas déroger aux postulats fondamentaux de l'analyse de variance (Zar 1999).

L'homogénéité de la variance a été vérifiée par l'analyse visuelle de la dispersion des résidus de chacune des variables (Devore et Peck 1994). Des transformations logarithmiques ont été effectuées pour certaines variables afin d'homogénéiser la variance. Les données des taux de survie ont été transformées en utilisant la formule suivante : $\text{ArcSin}(\sqrt{\% \text{survie}})$ (Zar 1999). Les analyses de variances ont été effectuées à l'aide de la procédure MIXED du logiciel SAS, version 8.1 (SAS Institute, Cary, NC). Dans le cas où l'interaction Préparation de terrain x Gabarit s'avérait significative, la procédure « slicing » était réalisée afin de déterminer s'il y avait un effet des préparations de terrain pour chacun des gabarits de plants. Une réponse significative permettait la réalisation d'une analyse de variance séparée pour chaque gabarit de plant. Les différences entre les préparations de terrain ont été déterminées par des contrastes *a priori* (Steel et Torrie 1980). Les différences étaient considérées comme significatives à $P \leq 0,05$. L'ensemble des analyses a été réalisé sur les données cinq ans après la plantation pour les 18 blocs encore sous étude et dix ans après la plantation pour les 7 blocs plantés en 2000 (4, 5, 6, 8, 9, 10 et 13; tableau 1) qui n'ont pas brûlés en 2007 (1, 2, 3) ou en 2010 (11 et 12). Les blocs plantés en 2001 (14 à 19) seront remesurés à la fin de la saison de croissance de 2011.

RÉSULTATS

Le type de préparation de terrain a influencé significativement le taux de survie après 5 et 10 ans en plantation (tableau 2, $P < 0,0001$). Par contre, le taux de survie mesuré dans les parcelles scarifiées des DS n'était pas différent des parcelles témoins après 5 ans et 10 ans en plantation (figure

Tableau 2 . Résumé de l'analyse de variance (valeurs de P) du taux de survie de plants d'EPN 5 et 10 ans après la plantation. Les facteurs significatifs sont indiqués en caractère gras ($P < 0,05$).

Source de la variation	dln	P > F	
		5 ans*	10 ans*
Préparation de terrain (P)	3	<0,0001	<0,0001
Gabarit (G)	1	<0,0001	<0,0001
P x G	3	0,1530	0,3216

dln : degré de liberté au numérateur.

*Données transformées : $\text{arcsin}(\sqrt{\% \text{Survie}})$.

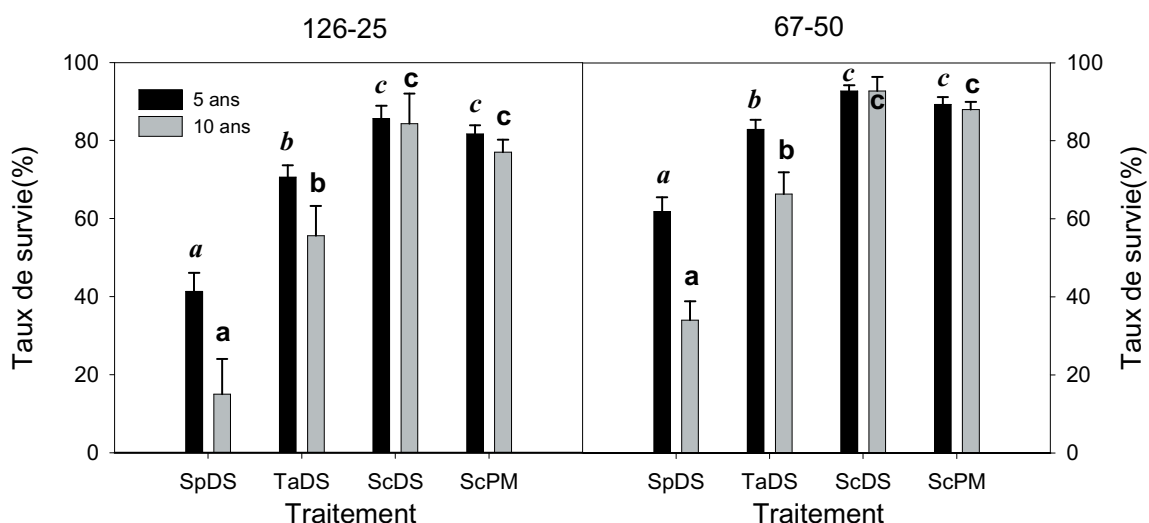


Figure 3 . Effet des préparations de terrain et des gabarits de plants sur la survie des plants après 5 et 10 ans en plantation. Les abréviations sont présentées au tableau 1; données pour 18 blocs après cinq ans et sept blocs après dix ans.

3). Le taux de survie dans les parcelles scarifiées des 126-25 et 67-50 dans les DS était respectivement de 81,7% et 92,7% dix ans après la plantation.

Le taux de survie des plants des parcelles plantées sans préparation de terrain dans les DS (SpDS), ou après le passage de la taupe (TaDS) était significativement inférieur à celui des parcelles scarifiées (ScDS) cinq et dix ans après la plantation (figure 3). Ces différences entre les SpDS et les ScDS étaient respectivement de 44,3 et 69,3% après 5 et 10 ans pour les gabarits 126-25, et de 30,9 et 58,7% pour les 67-50 (tableau 3). Les écarts étaient aussi significatifs mais moins importants pour les TaDS. Ainsi après dix ans, le taux de survie des plants des parcelles taupées était inférieur de 28,7% pour les 126-25 et 26,4% pour les 67-50.

Le taux de survie des plants après cinq et dix ans en plantation était influencé significativement par le gabarit (tableau 2; $P < 0,0001$). Le taux de survie moyen des 67-50 était significativement plus élevé que celui des 126-25. Il était de 81,7% comparativement à 69,8% après cinq ans et de 71,6% comparativement à 59,6% après 10 ans en plantation (tableau 3). Cependant, cette différence provenait avant tout des parcelles SpDS où le taux de survie des plants 67-50

était de 19 à 21% supérieur à celui des 126-25. Cet écart a diminué d'environ 12% pour les parcelles taupées alors qu'il n'était que de 7-9% pour les ScDS, passant de 92,7% pour les 67-50 à 84,3 % pour les 126-25 (tableau 3).

L'analyse de variance du tableau 4A montre une interaction significative $P \times G$ pour toutes les variables mesurées 5 ans après la plantation ($P < 0,0008$). La différence de hauteur entre les 126-25 et les 67-50 était de l'ordre de 6-7 cm dans les différents traitements de préparation de terrain mais était réduite à 3 cm dans les parcelles ScPM (tableau 5). Le même phénomène est observé pour les variables D_{col} et BS_{Stige} ; dans le cas du rapport H/D 5 ans après la plantation, l'écart le plus important se retrouvait dans le traitement TaDS où les 126-25 étaient nettement plus élancés que les 67-50 (tableau 5). L'interaction $P \times G$ n'était plus significative après 10 ans en plantation sauf pour le rapport H/D (tableau 4 et 5).

La préparation de terrain a eu un effet significatif sur la croissance en hauteur, en diamètre, sur le rapport H/D et la masse sèche épigée ou le volume de la tige (tableau 4; $P < 0,04$). Le traitement à la taupe ne se différenciait pas d'une plantation directe (figures 4, 5 et 6). La croissance de

Tableau 3 . Taux de survie des plants d'EPN mesurés après 1, 2, 5 et 10 ans après la plantation. Voir le tableau 1 pour la signification des abréviations.

Préparation de terrain	Taux de survie (%)							
	126-25				67-50			
	1 an	2 ans	5 ans	10 ans	1 an	2 ans	5 ans	10 ans
SpDS	83,7	70,2	41,3	15,0	90,8	84,5	61,8	34,0
TaDS	93,4	89,7	70,6	55,6	95,3	92,6	82,9	66,3
ScDS	94,6	90,7	85,6	84,3	97,3	95,6	92,7	92,7
ScPM	89,8	85,2	81,7	77,0	95,4	93,4	89,3	88,0

Tableau 4. Résumé de l'analyse de variance (valeurs de P) de la hauteur (H_{tot}), du diamètre au collet (D_{col} (5ans)) et au sol (D_{sol} (10ans)), de la biomasse sèche épigée (BS_{tige}), du volume de la tige (Vol_{tige}) et du rapport hauteur/diamètre (H/D) des plants d'EPN 5 ans (A) et 10 ans après la plantation (B). Les valeurs en gras indiquent les résultats significatifs ($P < 0,05$).

A-) 5 ans

Source de la variation	dln	P > F			
		H_{tot}^*	D_{col}^*	BS_{tige}^*	H/D^{**}
Préparation de terrain (P)	3	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001
Gabarit (G)	1	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,0412
P x G	3	0,0001	<0,0001	<0,0001	0,0008

B-) 10 ans

Source de variation	dln	P > F			
		H_{tot}^*	D_{sol}^*	Vol_{tige}^*	H/D^{**}
Préparation de terrain (P)	3	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,0003
Gabarit (G)	1	0,0311	0,0303	0,0555	0,1113
P x G	3	0,6910	0,7615	0,8047	0,0321

dln = degré de liberté au numérateur.

*Données transformées (ln).

**Rapport ajusté.

ces plants était significativement plus faible que celle des plants des parcelles qui ont été scarifiées dans les DS ou les PM. La croissance des plants des ScDS n'était pas significativement différente des plants témoins 10 ans après la plantation pour les plants 67-50 tandis que les 126-25 des ScDS étaient significativement moins hauts que les plants témoins. Après cinq ans, les plants ScDS 126-25 étaient en moyenne 20 cm plus haut, avaient un D_{col} 2,7 fois plus grand et une biomasse épigée 8,4 fois supérieure à celle des plants reboisés sans préparation de terrain (SpDS). Après dix ans, ces différences atteignaient 36,7 cm pour la hauteur tandis que le D_{col} était 2,5 fois plus grand et le Vol_{tige} 7,2 fois plus élevé (tableau 5). On retrouve le même effet pour les plants 67-50. Les 67-50 des ScDS mesuraient en moyenne 20,2 cm de plus que ceux des SpDS après cinq ans et 52,6 cm après dix ans; le diamètre au collet D_{col} (5ans) était 2,5 fois plus grand et le diamètre au sol D_{sol} (10 ans) 3,4 fois plus (tableau 5). La biomasse épigée des plants provenant de parcelles scarifiées était 11,3 fois plus grande que celle des plants SpDS après cinq années de croissance et le volume moyen de leur tige 15,8 fois plus grand après dix ans (tableau 5).

Tableau 5 : Moyennes des variables mesurées en fonction de la préparation de terrain et du gabarit de plants, 5 et 10 ans après la plantation. Les abréviations sont présentées au tableau 1; moyennes de 18 blocs après cinq ans et 7 blocs après dix ans.

		126-25		67-50		
		Prép./terrain	5ans	10 ans	5ans	10 ans
Hauteur totale (cm)	SpDS		22,5	31,8	29,5	35,6
	TaDS		24,6	36,1	30,8	38,2
	ScDS		42,5	68,5	49,7	88,2
	ScPM		59,5	97,3	62,4	105,4
Diamètre au collet (mesure 5 ans) et au sol (mesure 10 ans) (mm)	SpDS		2,7	5,3	3,6	5,5
	TaDS		2,6	5,2	3,6	6,1
	ScDS		7,3	13,3	9,1	18,5
	ScPM		11,7	18,6	11,8	22,5
Biomasse sèche épigée (g)	SpDS		2,7		3,2	
	TaDS		1,7		3,8	
	ScDS		22,6		36,3	
	ScPM		84,9		74,8	
Volume de la tige en (cm ³)	SpDS			9,6		8,1
	TaDS			9,6		7,5
	ScDS			69,0		128,2
	ScPM			157,5		227,4
Rapport H/D (cm/mm)	SpDS		9,2	7,2	9,0	7,4
	TaDS		10,0	7,8	8,9	7,0
	ScDS		6,3	5,7	5,7	5,0
	ScPM		5,9	5,9	6,0	5,2

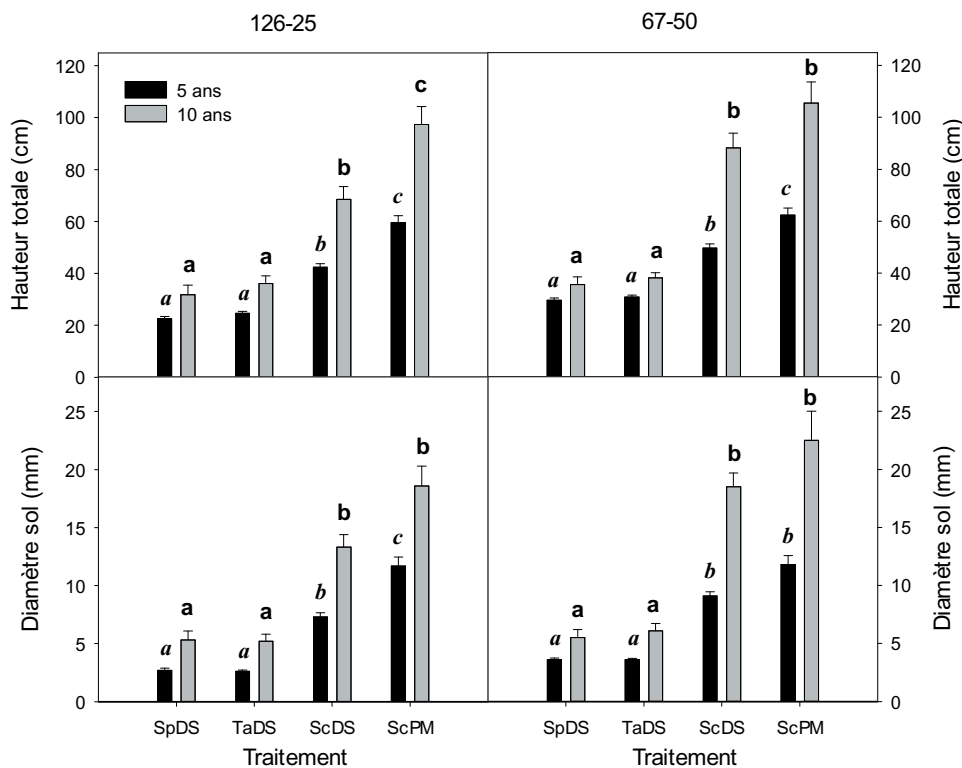


Figure 4. Effets des préparations de terrain et des gabarits des plants sur la hauteur totale et le diamètre au collet (5 ans) et au sol (10 ans), cinq et dix années après la plantation. Les abréviations sont présentées au tableau 1; moyennes de 18 blocs après cinq ans et 7 blocs après dix ans.

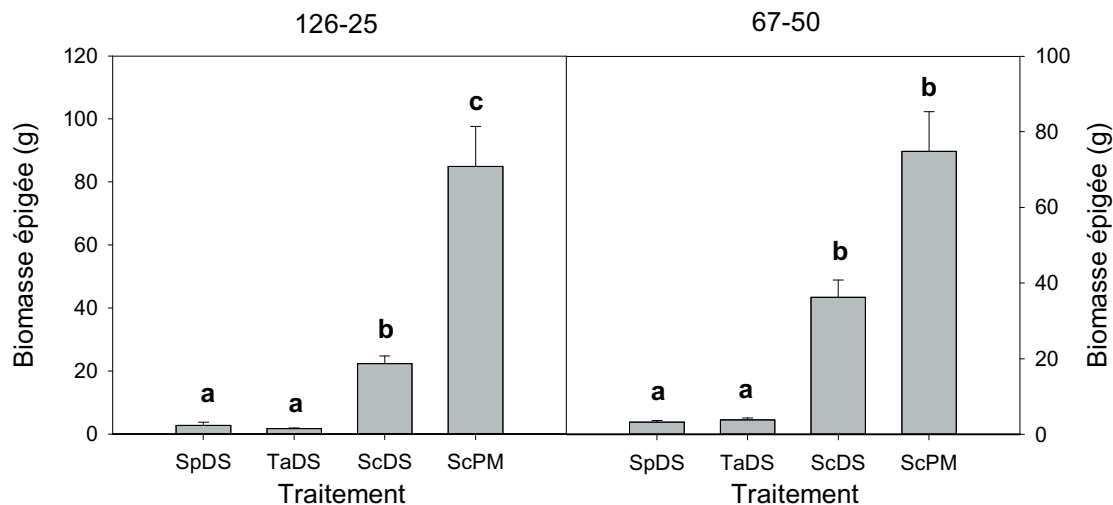


Figure 5. Effet des préparations de terrain et des gabarits de plants sur la biomasse sèche épigée (BS_{tige}) des plants récoltés 5 ans après la plantation. Les abréviations sont présentées au tableau 1; moyennes de 18 blocs.

Après cinq ans, la BS_{tige} des plants des ScPM était 3,8 fois plus grande que celle des plants des ScDS mais la différence n'était pas significative pour les plants 67-50 (figure 5). Dix années après la plantation, le volume des tiges des ScDS et des ScPM ne présentaient pas de différence significative (les volumes moyens variaient entre 69 et 227,4 cm³) mais était nettement supérieurs aux traitements SpDS et TaDS dont les moyennes variaient de 7,5 à 9,6 cm³ (figure 6).

Le gabarit des plants et les préparations de terrain ont eu un effet significatif sur le rapport H/D (tableau 4). Les quatre traitements de préparation de terrain étaient différents les uns des autres 5 ans après la plantation dans le cas des 126-25 (figure 7); le rapport H/D diminuait en fonction de l'intensité du traitement de préparation de terrain (TaDS < SpDS < ScDS < ScPM), les valeurs les plus basses se retrouvant dans les parcelles ScPM. Les plants 126-25 et 67-50 des parcelles scarifiées (ScDS ou ScPM) avaient un rapport H/D significativement plus bas que ceux des parcelles taupées ou plantées sans préparation de terrain 10 ans après la plantation (figure 7).

DISCUSSION

Impact des modes de préparation de terrain dans les DS

Le scarifiage est le mode de préparation de terrain qui a permis d'obtenir les meilleurs taux de survie et la plus forte croissance cinq et dix ans après la plantation dans les DS. L'effet bénéfique du scarifiage sur la croissance et

la survie des jeunes plants de conifères en phase d'établissement est donc démontré une fois de plus (voir les travaux de Bassman 1989, Grossnickle et Heikurinen 1989, Boucher et al. 1998, Örlander et al. 1998, Bedford et Sutton 2000, Thiffault et al. 2003, Hébert et al. 2006). Le scarifiage est reconnu pour augmenter la charge radiative sur le

sol, ce qui stimule la croissance racinaire et l'absorption de nutriments en plus d'améliorer les fonctions hydriques (Bassman 1989, Bowen 1991, Lyr et Garbe 1995, Boucher et al. 1998 et 2001, Hébert et al. 2006). Le rapport H/D plus bas chez les plants des parcelles scarifiées par rapport aux deux autres traitements dans les DS démontre une plus grande robustesse de ces plants, probablement un reflet d'un meilleur statut hydrique et nutritionnel (Girard 2004, Hébert et al. 2006). La diminution de l'influence de la com-

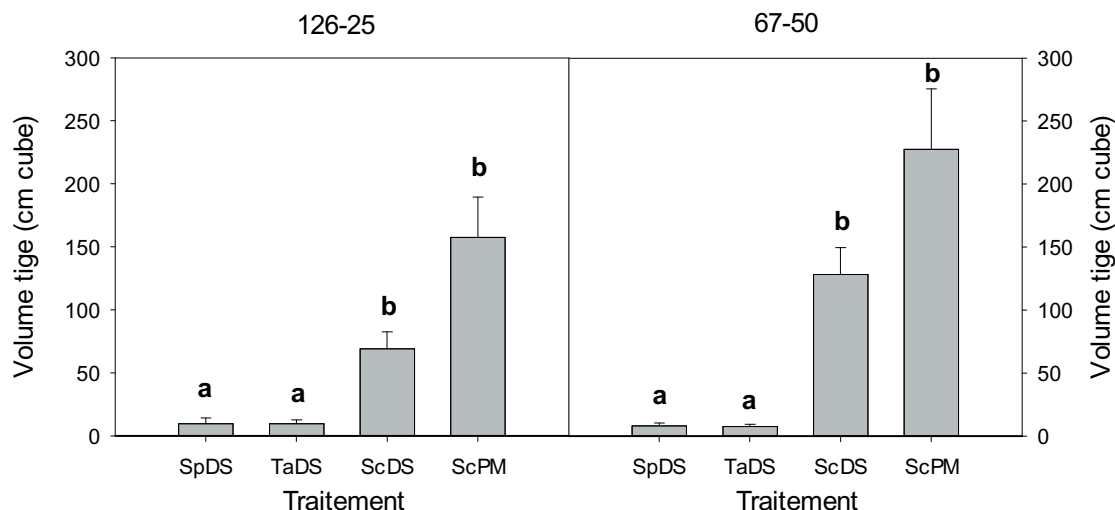


Figure 6. Effet des préparations de terrain et des gabarits de plants sur le volume de la tige 10 ans après la plantation. Les abréviations sont présentées au tableau 1; moyennes de 7 blocs.

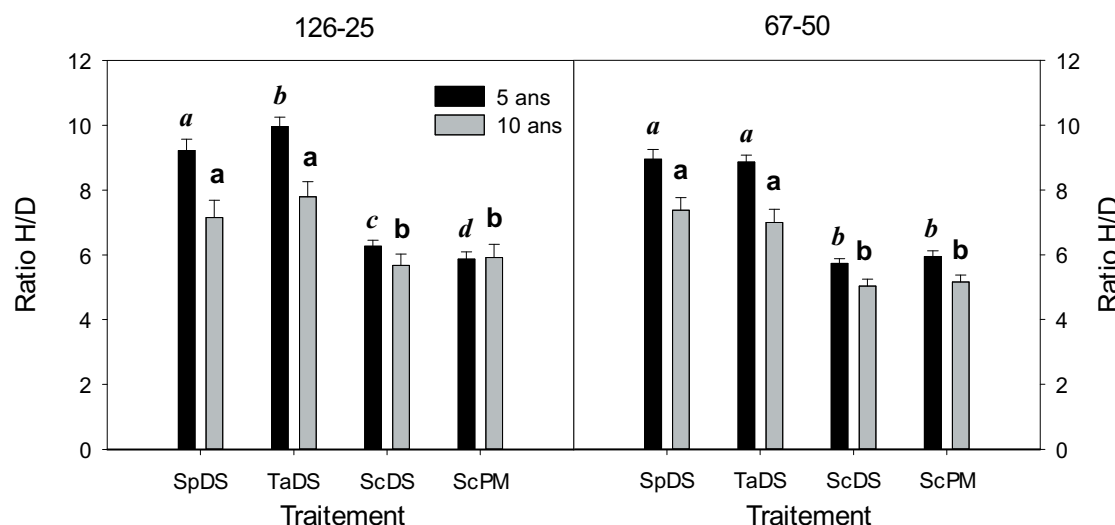


Figure 7. Effet des préparations de terrain sur le rapport H/D des plants récoltés 5 et 10 ans après la plantation. Les abréviations sont présentées au tableau 1; moyennes de 18 blocs après cinq ans et 7 blocs après dix ans

pétition sur la disponibilité en nutriments, l'interférence sur la colonisation des mycorhizes et l'interférence allélopathique devraient aussi être considérées pour expliquer, au moins en partie, les impacts positifs du scarifiage (Lanini et Radosevich 1986, Mallik 1993, Zhu et Mallik 1994, Bradley et al. 1997, Yamasaki et al. 1998, 2002).

La préparation de terrain à la taupe a provoqué une augmentation du taux de survie des plants comparativement aux parcelles sans préparation de terrain, mais leur croissance était similaire à ces dernières tout au long des échantillonnages. Les variables de croissance des plants de ces deux traitements sont cependant largement inférieures à celles mesurées sur les plants des parcelles scarifiées. Ces différences observées entre les plants des parcelles non scarifiées et scarifiées dans les DS pourraient être attribuables aux fonctions hydriques favorables retrouvées dans les parcelles scarifiées en comparaison avec les parcelles taupées et sans préparation de terrain (Hébert et al. 2006). Pourtant, d'un point de vue opérationnel, la taupe est reconnue

comme un outil intéressant pour la création de microsites pour plantation. L'absence d'impact positif de la taupe, outre un taux de survie plus élevé, pourrait être reliée au plus faible niveau de perturbation du microsite comparativement au passage d'un scarificateur. En retirant la végétation compétitive dans un rayon de 15 cm, la taupe réduit l'épaisseur de la matière organique non décomposée ou partiellement décomposée. La méthode utilisée (débrousailluse) a cependant créé une grande hétérogénéité de microsites, surtout que les sites eux-mêmes montraient une variabilité intra et inter bloc relativement grande en ce qui concerne cette épaisseur (données non présentées). À tel point qu'il arrivait que le microsite n'avait peu ou pas d'horizon minéral en association avec de l'humus bien décomposé. De plus, les microsites formés à l'aide de la taupe ont tendance à être recolonisés rapidement par la végétation de compétition, perdant ainsi les avantages qu'elle devait leur procurer au plan de la croissance. Si c'est bien la fermeture rapide des microsites qui cause la plus faible croissance des plants reboisés alors le même effet serait théoriquement attendu à plus long terme avec le scarifiage comme mode de préparation de terrain dans les milieux ouverts sur stations sèches. En effet, les sillons de scarifiage sont aussi envahis de nouveau par la végétation de compétition sauf que selon nos observations, le délai est généralement beaucoup plus long. De plus, le rythme passablement rapide de croissance des plants mis en terre dans les parcelles scarifiées et leur densité élevée (environ 2 000 tiges à l'hectare) a permis à ceux-ci de rapidement influencer la composition même de la végétation au sol, entre autres par un effet d'interception de la lumière. La densité des lichens des genres *Cladina* et *Cladonia* devrait donc diminuer puisqu'il s'agit d'organismes fortement héliophiles (Brodo et al. 2001). En résumé, les résultats démontrent clairement l'utilité de préparer le terrain de façon agressive, même si le recouvrement végétatif des milieux ouverts sur stations sèches apparaît souvent comme un manteau

plutôt mince de lichens et de mousses, transpercé par une densité variable de tiges d'éricacées. Si laissés en place ou avec une préparation modérée (la taupe), ces compétiteurs diminuent nettement la survie et la croissance des épinettes noires plantées comparativement au scarifiage, lequel réduit considérablement la compétition et permet aux plants de bénéficier d'avantages toujours présents après dix ans.

Comparaison entre les plantations des DS scarifiés et des pessière noire à mousses récoltées scarifiées

Les pourcentages de survie des plants cinq et dix ans après la plantation sont comparables entre les parcelles scarifiées des deux milieux (ScDS et ScPM). Les différences significatives retrouvées entre ces deux milieux pour les mesures de hauteur et de diamètre pour le gabarit 126-25 et seulement de hauteur pour le gabarit 67-50 cinq ans après la plantation se résument, dix ans après la plantation, à la seule différence de hauteur pour le gabarit 67-50. En somme, il y a de moins en moins de différences significatives au fur et à mesure que le temps passe même si les différences en valeur absolue sont toujours présentes. De plus, il faudra attendre l'automne 2011 et avoir en notre possession les analyses de tous les sites 10 ans après plantation avant de confirmer ce résultat car sa portée est importante au plan de l'aménagement du territoire forestier québécois. Elle signifie que, en termes statistiques, les plants reboisés dans les dénudés secs se comportaient de la même façon que ceux plantés dans certaines pessières à mousses pour les croissances en hauteur et en diamètre. Il faudra aussi bien suivre ces parcelles à long terme afin d'échantillonner les individus qui deviendront éventuellement les dominants. Seule cette mesure donnera l'indice de qualité des stations (IQS) de chacun des sites, tant DS que PM, pour chacun des modes de préparation de terrain. Or, cette mesure pourra difficilement être obtenue avant la fin de la période de croissance juvénile chez l'épinette noire, soit une période de 15 à 20 ans après la plantation (Lord et al. 2005). D'ici là, le suivi par la moyenne des individus échantillonnés demeurera le meilleur indicateur.

Comparaison entre les deux gabarits de plants

Les taux de survie des plants cultivés en récipients 126-25 étaient moins élevés que ceux retrouvés pour les plants cultivés en récipients 67-50. Les différences sont particulièrement importantes pour les parcelles sans aucune préparation de terrain où seulement 15% des plants étaient toujours vivants dix ans après la plantation contre 34% pour le gabarit 67-50. Dans les parcelles scarifiées, les taux de survie après dix ans des 126-25 étaient toujours moins élevés mais dépassaient quand même 75 %. Le succès de la plantation semble donc assuré dans toutes les parcelles scarifiées, que ce soit celles de la pessière à mousses ou celles des dénudés secs quelque soit le gabarit utilisé.

PERSPECTIVES

Les résultats de cette étude à long terme valident l'idée de reboiser avec de l'épinette noire des milieux ouverts sur certains types de stations sèches du domaine de la pessière

noire à mousses. En effet, les résultats obtenus cinq et dix ans après la plantation de plusieurs sites ouverts répartis en forêt boréale au Saguenay-Lac-St-Jean et dans la région Nord du Québec font état d'un taux de survie suffisant pour assurer une plantation suffisamment stockée, ainsi que d'une croissance appréciable. Ceci est vrai seulement lorsque le terrain a été scarifié, ce qui pointe vers des mesures agressives de préparation de terrain comme meilleures pratiques sylvicoles à appliquer pour la remise en production des milieux ouverts sur stations sèches. D'autres études menées sur une partie du dispositif utilisé ici ont déjà permis de constater que les fonctions hydriques des plants croissant dans ces milieux, qui sont des variables critiques pour l'établissement et la croissance des plants, ne diffèrent pas de celles obtenues dans la pessière à mousses lorsque les terrains sont scarifiés (Hébert et al. 2006). Il faut également envisager d'augmenter le niveau de perturbation du milieu en récoltant préalablement les DS avant de les scarifier ou encore employer des méthodes de préparation de terrain plus agressives que la simple scarification (Prévost 1996, Örlander et al. 1998, Brais 2001). La taupe semble une alternative peu intéressante, contrairement à un traitement dont le niveau de perturbation du microsite est plus élevé comme la double scarification ou l'emploi d'une excavatrice munie d'un peigne ou du Bräcke-monticule, par exemple. Les résultats montrent aussi que l'utilisation de plants issus de récipients 126-25 serait une alternative à considérer dans les DS où la compétition pour la lumière n'est pas un facteur limitant pour la croissance (Girard 2004).

Les résultats des variables de survie et de croissance des plants mis en terre dans les DS démontrent qu'il est possible de reboiser ces territoires avec succès, du moins pour les dix premières années. De plus, les données de croissance obtenues à l'aide de ce dispositif situé dans des milieux considérés comme improductifs, équivalent à la croissance de certaines plantations «normales» situées dans des territoires de la pessière à mousses qualifiés de productifs. Étant donné leur statut particulier de milieux improductifs et/ou fragiles, les DS ne sont actuellement pas inclus dans les stratégies d'aménagement forestier. Or, nos résultats démontrent que les DS possèdent un potentiel de productivité inexploité qui mérite une attention particulière. Il faut donc poursuivre la recherche sur ce genre de sites afin de déterminer l'impact de la remise en production de ces milieux en termes de productivité. En plus de contribuer au rendement forestier en tant que tel, la remise en production de ces sites contribuerait au maintien d'un élément essentiel de la diversité biologique en forêt boréale québécoise, soit la forêt fermée d'épinette noire du vaste domaine de la pessière à mousses. Enfin, à l'ère de la problématique des changements climatiques et des gaz à effet de serre, la remise en production de territoires forestiers mal régénérés pourrait représenter une avenue intéressante pour la création de puits de carbone et ainsi permettre au Québec de contribuer encore plus à l'effort mondial nécessaire. Dans ce cas particulier il faudra cependant tenir compte de l'effet albédo survenant avec la modification en quelques années d'un espace ouvert fortement couvert de lichens, à un espace de forêt dense.

RÉFÉRENCES

- Bassman, J.H. 1989. Influence of two site preparation treatments on ecophysiology of planted *Picea engelmannii glauca* seedlings. *Can. J. For. Res.* 19: 1359-1370.
- Bauce, E., Crépin, M. et Carisey, N. 1994. Spruce budworm growth, development and food utilization on young and old balsam fir trees. *Oecologia* 97: 499-507.
- Bedford, L. et Sutton, R.F. 2000. Site preparation for establishing lodgepole pine in the sub-boreal spruce zone of interior British Columbia: the Bednesti trial, 10-year results. *For. Ecol. Manage.* 126: 227-238.
- Boucher, J.-F., Bernier, P.Y. et Munson, A.D. 2001. Radiation and soil temperature interactions on the growth and physiology of eastern white pine (*Pinus strobus* L.) seedlings. *Plant Soil* 236: 165-174.
- Boucher, J.F., Wetzel, S. et Munson, A.D. 1998. Leaf level response of planted eastern white pine (*Pinus strobus* L.) seven years after intensive silvicultural treatments. *For. Ecol. Manage.* 107: 291-307.
- Bowen, G.D. 1991. Soil temperature, root growth, and plant function. *Dans: Plant roots: The hidden half.* Marcel Dekker Inc., New-York, pp. 309-330.
- Bradley, R.L., Fyles, J.W. et Titus, B. 1997. Interactions between *Kalmia* humus quality and chronic low C inputs in controlling microbial and soil nutrient dynamics. *Soil Biol. Biochem.* 29: 1275-1283.
- Brais, S. 2001. Persistence of soil compaction and effects on seedling growth in northwestern Quebec. *Soil Sci. Soc. Am. Jour.* 65: 1263-1271.
- Brand, D.G. 1990. Growth analysis of responses by planted white pine and white spruce to changes in soil temperature, fertility and brush competition. *For. Ecol. Manage.* 30: 125-138.
- Brodo, I.M., Sharnoff, S.D. et Sharnoff, S. 2001. Lichens of North America. 1e édition, Yale University Press, 828 p.
- Côté, D. 2003. Expansion des milieux ouverts à lichen dans le domaine de la pessière à mousse. *Dans : Les enjeux de biodiversité relatifs à la composition forestière*, P. Grondin et A. Cimon, coordonnateurs. Ministère des Ressources naturelles de la Faune et des Parcs, Direction de la recherche forestière et Direction de l'environnement forestier. pp. 175-190.
- Côté, D. 2004. Mise en place des landes forestières dans le domaine des forêts commerciales d'épinette noire (*Picea mariana* [Mill.] BSP) et potentiel de ces milieux pour la production forestière. Chicoutimi, Québec. Mémoire de maîtrise, UQAC, 107 p.
- Côté, D. et Gagnon, R. 2002. Régression des forêts commerciales d'épinette noire (*Picea mariana* [Mill.] BSP) à la suite de feux successifs. Actes du colloque : L'aménagement forestier et le feu, Chicoutimi, 9 et 10 avril 2002. Ministère des Ressources naturelles, Direction de la conservation des forêts : 162.
- Dancause, A. 2008. Le reboisement au Québec. Les Publications du Québec, Québec. 177 p.
- Devore, J. et Peck, R. 1994. Introductory statistics. 2nd ed. West Publishing Company, St. Paul, MN, 354 p.
- Forslund, R. R. et Paterson, J.M. 1994. Nondestructive volume estimate of 11-years-old jack pine and black spruce using the power function volume model. *For. Chron.* 70 : 762-767.
- Girard, F. 2004. Remise en production des pessières à lichens de la forêt boréale commerciale : nutrition et croissance de plants d'épinette noire trois ans après traitements de préparation de terrain. Mémoire de maîtrise, UQAC, 56 p.
- Girard, F., Payette, S. et Gagon, R. 2009. Origin of the lichen-spruce woodland in the closed-crown forest zone of eastern Canada. *Glob. Ecol. Biogeogr.* 18: 291-303.
- Grossnickle, S. C. et Heikurinen, J. 1989. Site preparation: water relations and growth of newly planted jack pine and white spruce. *New For.* 3: 99-123.
- Hébert, F., Boucher, J.-F., Bernier, P.Y. et Lord, D. 2006. Growth response and water relations of three-year-old planted black spruce and jack pine seedlings in site prepared lichen woodlands. *For. Ecol. Manage.* 223: 226-236.
- Hustich, I. 1965. A black spruce feather moss forest in the interior of southern Quebec-Labrador Peninsula. *Acta Geographica.* 18: 25 p.
- Hustich, I. 1966. On the forest-tundra and the forest tree-lines. Reports from the Kevo subarctic Research station. *Ann. Univ. Turku. A* 11. 36: 7-47.
- Lanini W.T. et Radosevich S.R. 1986. Response of three conifer species to site preparation and shrub control. *Forest Sci.* 32: 61-77.
- Lavoie, L. et Sirois, L. 1998. Vegetation changes caused by recent fires in the northern boreal forest of eastern Canada. *J. Veg. Sci.* 9: 483-492.
- Lord, D., Hébert, F., Boucher, J.-F. et Krause, C. 2005. Phase juvenile de croissance et détermination du rendement de plantation d'épinette noire (*Picea mariana* [Mill.] B.S.P.) de la forêt boréale commerciale. Conférence, Association Canadienne-Française pour l'avance-

- Lyr, H. et Garbe, V. 1995. Influence of root temperature on growth of *Pinus sylvestris*, *Fagus sylvatica*, *Tilia cordata* and *Quercus robur*. *Trees* 9: 210-213.
- Mallik, A.U. 1993. Ecology of a forest weed of Newfoundland: vegetative regeneration strategy of *Kalmia angustifolia*. *Can. J. Bot.* 71: 161-166.
- Morneau, C. et Payette, S. 1989. Postfire lichen-spruce woodland recovery at the limit of the boreal forest in northern Quebec. *Can. J. Bot.* 67: 2770-2782.
- Munson, A.D., Margolis, H.A. et Brand, D.G. 1993. Intensive silvicultural treatment: impacts on soil fertility and planted conifer response. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 57: 246-255.
- Örlander, G., Hallsby, G., Gemmel, P. et Wilhelmsson, C. 1998. Inverting improves establishment of *Pinus contorta* and *Picea abies*-10-year results from a site preparation trial in Northern Sweden. *Scand. J. For. Res.* 13: 160-168.
- Payette, S., Bhiry, N., Delwaide, A. et Simard, M. 2000. Origin of the lichen woodland at its southern range limit in eastern Canada : The catastrophic impact of insect defoliators and fire on the spruce-moss forest. *Can. J. For. Res.* 30: 288-305.
- Prévost, M. 1996. Effet du scarifiage sur les propriétés du sol et l'ensemencement naturel dans une pessière noire à mousses de la forêt boréale québécoise. *Can. J. For. Res.* 26: 72-86.
- Riverin, S. et Gagnon, R. 1996. Dynamique de la régénération d'une pessière à lichens dans la zone de la pessière noire à mousses, nord du Saguenay-Lac-Saint-Jean (Québec). *Can. J. For. Res.* 26: 1504-1509.
- Saucier, J.-P., Grondin, P., Robitaille, A., Gosselin, J., Morneau, C., Richard, P. J.H., Brisson, J., Sirois, L., Leduc, A., Morin, H., Thiffault, É., Gauthier, S., Lavoie, C. et Payette, S. 2009. « Écologie forestière ». *Dans* : Manuel de foresterie, 2^{éd.} Ordre des ingénieurs forestiers du Québec, Éditions Multimonde, Québec, p. 165-316.
- Steel, R.G.D. et Torrie, J.H. 1980. Principles and procedures of statistics: a biometrical approach. 2nd ed. McGraw-Hill Publishing Company, New-York, 672 p.
- Thiffault, N., Jobidon, R. et Munson, A.D. 2003. Performance and physiology of large containerized and bare-root spruce seedlings in relation to scarification and competition in Québec (Canada). *Ann. For. Sci.* 60: 645-655.
- Thiffault, N., Titus, B.D. et Munson, A.D. 2005. Silvicultural options to promote seedling establishment on *Kalmia-Vaccinium*-dominated sites. *Scan. J. For. Res.* 20:110-121.
- Titus, B.D., Sidhu, S.S. et Mallik, A.U. 1995. A summary of some studies on *Kalmia angustifolia* L. : A problem species in Newfoundland forestry. Information report N-X-296. St-John's NF: Service canadien des forêts, Ressources Canada.
- Tremblay, P.S. 1996. Manuel de foresterie. Les presses de l'Université Laval, Québec, 1 428 p.
- Walsh, D., Allaire, J. et Lord, D. 2002. Performance en plantation de plants d'épinette noire de petites dimensions: Rapport d'étape pour la période 2001-2002. UQAC, 26 p.
- Walsh, D., Allaire, J. et Lord, D. 2011. Survie et croissance de mini-plants d'épinette noire reboisés en forêt boréale : Bilan de 10 ans en plantation. <http://dsf.uqac.ca/boreale/>.
- Yamasaki S. H., Fyles, J. W., Egger, K. N. et Titus, B. D. 1998. The effect of *Kalmia angustifolia* on the growth, nutrition and ectomycorrhiza symbiont community of black spruce. *For. Ecol. Manage.* 105: 197-207.
- Yamasaki, S.H., Fyles, J.M. et Titus, B.D. 2002. Interaction among *Kalmia angustifolia*, soil characteristics, and the growth and nutrition of black spruce seedlings in two boreal Newfoundland plantations of contrasting fertility. *Can. J. For. Res.* 32: 2215-2224.
- Zar, J.H. 1999. Biostatistical analysis. Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 929 p.
- Zhu, H. et Mallik, A.U. 1994. Interactions between *Kalmia* and black spruce: Isolation and identification of allelopathic compounds. *J. Chem. Ecol.* 20: 407-421.

